

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-349716

(P2000-349716A)

(43) 公開日 平成12年12月15日 (2000. 12. 15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J 2 K 0 0 2
10/16		C 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	H 0 1 S 3/10	Z 5 K 0 0 2
H 0 1 S 3/10		3/30	Z
3/30		H 0 4 B 9/00	E

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-158509

(22) 出願日 平成11年6月4日 (1999. 6. 4)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 河合 伸悟

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 増田 浩次

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 10007/481

弁理士 谷 義一 (外1名)

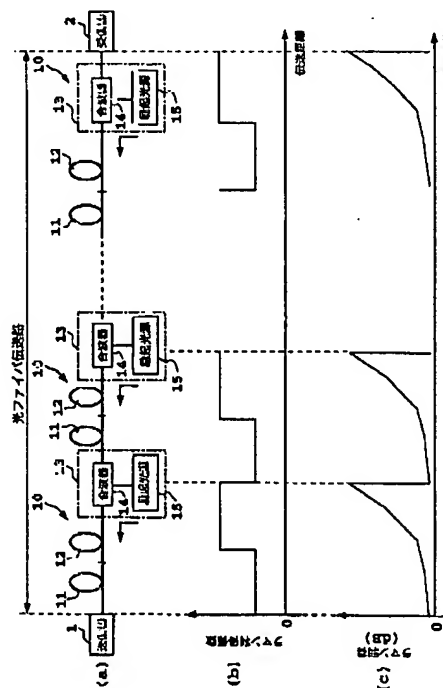
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保し、分布ラマン増幅の高光SNR特性を引き出すこと。

【解決手段】 ラマン利得係数の低い低非線形ファイバ11と、ラマン利得係数の高いファイバ12と、当該ラマン利得係数の高いファイバ12の出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部13とを縦続接続して構成される光伝送ユニット10を、光ファイバ伝送路内に配置した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光信号を送出する送信器と、光ファイバ伝送路と、光信号を受信する受信器とから構成される光伝送システムであって、前記光ファイバ伝送路は、ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと、ラマン利得係数の高いファイバと、当該ラマン利得係数の高いファイバの出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部とを縦続接続し、かつ、当該縦続接続した区間を単位中継区間として、当該単位中継区間を1段若しくは多段に接続して構成したことを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 前記単位中継区間内の各ファイバは、入力側から、ラマン利得係数が低い方から高い方へ順に接続されたことを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項3】 ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと当該ラマン利得係数の高いファイバとのファイバ長の比は、当該ラマン利得係数の低い低非線形ファイバ中のラマン利得と当該ラマン利得係数の高いファイバ中のラマン利得との和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定されたことを特徴とする請求項1又は2記載の光伝送システム。

【請求項4】 前記中継区間は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバから構成され、ラマン利得係数の順に縦続接続されることを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項5】 前記単位中継区間内の各ファイバは、入力側から、ラマン利得係数が低い方から高い方へ順に接続されたことを特徴とする請求項4記載の光伝送システム。

【請求項6】 前記ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバのファイバ長の比は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバ中のラマン利得の和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定されたことを特徴とする請求項4又は5記載の光伝送システム。

【請求項7】 前記励起部の後段に、集中型の光増幅器をさらに具えたことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の光伝送システム。

【請求項8】 光伝送システムの送信器と受信器との間に接続される光伝送路であって、ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと、ラマン利得係数の高いファイバと、当該ラマン利得係数の高いファイバの出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部とを縦続接続し、かつ、当該縦続接続した区間を単位中継区間として、当該単位中継区間を1段若しくは多段に接続して構成したことを特徴とする光伝送路。

【請求項9】 前記単位中継区間内の各ファイバは、入力側から、ラマン利得係数が低い方から高い方へ順に接

続されたことを特徴とする請求項8記載の光伝送路。

【請求項10】 ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと当該ラマン利得係数の高いファイバとのファイバ長の比は、当該ラマン利得係数の低い低非線形ファイバ中のラマン利得と当該ラマン利得係数の高いファイバ中のラマン利得との和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定されたことを特徴とする請求項8又は9記載の光伝送路。

【請求項11】 前記中継区間は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバから構成され、ラマン利得係数の順に縦続接続されることを特徴とする請求項8記載の光伝送路。

【請求項12】 前記単位中継区間内の各ファイバは、入力側から、ラマン利得係数が低い方から高い方へ順に接続されたことを特徴とする請求項11記載の光伝送路。

【請求項13】 前記ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバのファイバ長の比は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバ中のラマン利得の和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定されたことを特徴とする請求項11又は12記載の光伝送路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器、特に、分布型ラマン増幅器を用いた光伝送システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】図8および図9は、波長分割多重(WDM)伝送システムに用いられる、分布ラマン増幅器の基本構成を示す。

【0003】図8の基本構成において、分布ラマン増幅器100は、一般に、伝送ファイバ101をそのまま利得媒体とし、合波器102および励起光源103を用いて後方励起することによって、光増幅が可能となる。

【0004】励起光波長は、単一若しくは多波長であり、例えば波長1.5  $\mu\text{m}$ 近傍では、励起光波長に対して長波長側に約100 nm離れた波長域にピークを有する利得が得られる。

【0005】また、図9の基本構成においては、分布ラマン増幅器100の後段に、エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)等の集中型の希土類添加光ファイバ増幅器200を配置する。

【0006】そして、これら2つの増幅器100、200によって、ハイブリッドに信号光を増幅している。集中型光増幅器200の増幅器利得の波長特性を相殺するように、分布ラマン増幅器100の励起光波長が設定され、増幅利得が平坦化される。

【0007】図8および図9の基本構成において、増幅器は、各々線形中継器として用いられているが、図中の第2のファイバ110を受信器に置き換えれば、前置増

幅器として上記増幅器を用いることも可能である。

【0008】分布ラマン増幅器100を用いた伝送システムにおいては、伝送ファイバ中で分布的に利得が存在するために、集中型光増幅器200のみを用いた伝送システムに比べ、雑音特性に関して優位性を有する。

【0009】入射信号光パワーが一定であれば、分布ラマン利得が大きい程高い光信号雑音比(光SNR)が得られ、中継間隔及び伝送距離の長距離化が可能である。

【0010】ラマン増幅の励起効率は、一般に、EDFA等の希土類添加ファイバ増幅器に比べて低く、高利得を得るために高パワーの励起光やラマン利得係数の高いファイバ(小コア面積、かつ、GeO<sub>2</sub>等の添加物が高濃度添加されたもの)が必要となる。

【0011】従来においては、通常、伝送ファイバとして、分散シフトファイバ(DSF)が用いられている。以下、数値例を用いて説明する。

【0012】ラマン利得 $G_R$ は、励起光パワーのみならず、ラマン増幅用ファイバのファイバ長、有効コア面積、添加物質であるGeO<sub>2</sub>の濃度等に依存し、高次のラマン散乱による励起光パワーの減衰を無視した場合、デシベル単位で次式により与えられる。

【0013】

$$G_R = 4.343 c_R P_p L_e / K \quad \dots (1)$$

ここで、 $c_R = g_R / A_{eff}$ はラマン利得係数、 $g_R$ は有効コア中のラマン利得係数、 $A_{eff}$ はファイバの有効コア面積、 $P_p$ は励起光パワー、 $L_e = \{1 - \exp(-\alpha_p L)\} / \alpha_p$ は有効ファイバ長、 $\alpha_p$ は励起光波長におけるファイバ損失係数、 $L$ は中継間隔、 $K (=1 \text{ or } 2)$ は偏波因子である。GeO<sub>2</sub>濃度は式(1)中に現れていないが、 $g_R$ 、 $A_{eff}$ がGeO<sub>2</sub>濃度依存性を持つことが知られている。

【0014】図10は、図8に示した基本構成の分布ラマン増幅器に関して、下記の数値例を用いて計算したラマン利得を示す。

【0015】励起光源として実用的な半導体レーザ(LD)を用いた場合、得られるパワーは、LD一台当たり数百mW程度であることを考慮して、 $P_p = 200$  (mW)、 $K = 2$  (偏波非保持)とした。

【0016】伝送ファイバの具体例として、DSF (GeO<sub>2</sub>濃度が通常10 (mol%)程度)と純粋石英とからなる従来のシングルモードファイバ(SMF)とを考慮した。

【0017】実線は、DSFを用いた場合( $g_R = 8.0 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff} = 50$  ( $\mu\text{m}^2$ )、 $\alpha_p = 0.25$  (dB/km))のラマン利得である。破線は、SMFを用いた場合( $g_R = 6.7 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff} = 80$  ( $\mu\text{m}^2$ )、 $\alpha_p = 0.2$  (dB/km))のラマン利得である。簡単化のため、ファイバ損失係数を励起光及び信号光波長において同一とし、各々のファイバに関して計算したファイバ損失も直線で示し

た。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】図10を参照して、上記数値例を用いると、伝送ファイバがSMFの場合、損失係数は小さいがラマン利得が小さいため、30kmを超える中継間隔の確保は困難であると共に、分布ラマン増幅の高光SNR特性を発揮することができない。

【0019】伝送ファイバがDSFの場合は、損失係数は大きいもののラマン利得が大きく、中継間隔が伸長されている。しかしながら、高非線形ファイバ中では、ラマン利得係数が大きいだけでなく、一般に非線形係数も大きな値となるため、伝送特性劣化要因となる各種非線形効果の効率も大きくなり、伝送距離が制限される。すなわち、伝送路に入射する信号光パワーが制限され、大幅な高光SNR化が困難となる。

【0020】以上説明したように、ラマン利得係数の小さい低非線形なファイバでは、十分なラマン利得を得ることができない。一方、ラマン利得係数の大きいファイバでは、ファイバ中の非線形効果を回避するために信号光パワーが制限される。

【0021】このように従来の伝送ファイバでは、分布ラマン増幅器本来の高光SNR特性を十分に発揮しきれていないのが現状である。

【0022】そこで、本発明の目的は、非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保し、分布ラマン増幅の高光SNR特性を引き出すことが可能な光伝送システムを提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明は、光信号を送出する送信器と、光ファイバ伝送路と、光信号を受信する受信器とから構成される光伝送システムであって、前記光ファイバ伝送路を、ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと、ラマン利得係数の高いファイバと、当該ラマン利得係数の高いファイバの出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部とを縦続接続し、かつ、当該縦続接続した区間を単位中継区間として、当該単位中継区間を1段若しくは多段に接続することによって、光伝送システムを構成する。

【0024】ここで、前記単位中継区間内の各ファイバは、入力側のラマン利得係数が低い方から高い方へ順に接続してもよい。

【0025】ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと当該ラマン利得係数の高いファイバとのファイバ長の比は、当該ラマン利得係数の低い低非線形ファイバ中のラマン利得と当該ラマン利得係数の高いファイバ中のラマン利得との和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定してもよい。

【0026】前記中継区間は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバにより構成し、ラマン利得係数の順に縦続接続してもよい。

【0027】前記ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバのファイバ長の比は、ラマン利得係数の異なる3種類以上の複数のファイバ中のラマン利得の和によって、当該中継区間内の損失が補償されるように設定してもよい。

【0028】前記励起部の後段に、集中型の光増幅器をさらに具えてもよい。

【0029】本発明は、光伝送システムの送信器と受信器との間に接続される光伝送路であって、ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと、ラマン利得係数の高いファイバと、当該ラマン利得係数の高いファイバの出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部とを縦続接続し、かつ、当該縦続接続した区間を単位中継区間として、当該単位中継区間を1段若しくは多段に接続することによって、光伝送路を構成する。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0031】【システム基本構成】まず、本システムの基本構成を、図1に基づいて説明する。

【0032】図1(a)は、本システムの基本構成を示すものであり、送信器1と受信器2との間の光ファイバ伝送路3には、本発明に係る中継区間10が複数設けられている。

【0033】各中継区間10は、光信号の入力側から順に、第1の伝送ファイバ11と、第2の伝送ファイバ12と、励起部13とを縦続接続して構成されている。励起部13は、合波器14と励起光源15とからなっている。

【0034】この場合、光伝送路は、中継区間10を、1段若しくは多段に接続して構成することができ、本例では、多段接続して構成されているものとする。

【0035】第1の伝送ファイバ11は、ラマン利得係数が低く非線形性の低いファイバからなる。

【0036】第2の伝送ファイバ12は、ラマン利得係数が高いファイバからなる。

【0037】励起部13は、ラマン利得係数の高いファイバの出力端から、信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う。

【0038】このような光伝送システムにおいて、ラマン利得係数の低い低非線形第1の伝送ファイバ11とラマン利得係数の高い第2の伝送ファイバ12とのファイバ長の比を、第1の伝送ファイバ11中のラマン利得と第2の伝送ファイバ12中のラマン利得との和によって、中継区間内の損失が補償されるように設定したことを特徴としている。

【0039】また、本発明においては、ラマン利得係数の異なる複数種類の伝送ファイバを用いて構成した場合においても、ファイバ長の比を、ラマン利得係数の異なる

複数種類のファイバ中のラマン利得の和によって、中継区間内の損失が補償されるように設定してもよい。

【0040】さらに、光信号の入力側にラマン利得係数が低い伝送ファイバを接続し、この入力側のラマン利得係数が低い方からラマン利得係数が高い方へ順に接続してもよい。

【0041】次に、ラマン利得係数およびラマン利得の距離依存性について説明する。

【0042】図1(b)はラマン利得係数の距離依存性を示し、図1(c)はラマン利得の距離依存性を示す。

【0043】第1の伝送ファイバ11中では、非線形効率が低いため、伝送特性劣化の原因となる非線形効果の影響は少ない。第2の伝送ファイバ12中では、非線形効率が大きくなるが、第1の伝送ファイバ11の損失によって信号パワーが減衰しているため、第1の伝送ファイバ11中と同様に、大きな伝送特性劣化は生じない。

【0044】以下、第1の伝送ファイバ11としてSMF(シングルモードファイバ)を用い、第2の伝送ファイバ12としてDSF(分散シフトファイバ)を用いた場合の数値例について説明する。なお、SMF11、DSF12の構成内容は、従来例と同様であり、ここでの説明は省略する。

【0045】信号光の波長を $1.54 \sim 1.56 \mu\text{m}$ とし、励起光の波長を $1.45 \mu\text{m}$ とする。また、中継区間(すなわち、第1の伝送ファイバ11から励起部13までの距離)を40kmとする。

【0046】図2は、中継区間内におけるラマン利得の励起光伝播方向の距離依存性を示す。

【0047】この場合、SMF11およびDSF12のファイバ長配分(SMF/DSF)を、40km/0km(線分 $\textcircled{a}$ )、30km/10km(線分 $\textcircled{b}$ )、20km/20km(線分 $\textcircled{c}$ )、10km/30km(線分 $\textcircled{d}$ )、0km/40km(線分 $\textcircled{e}$ )、と変化させる。

【0048】図3は、SMF11のファイバ長に対する1中継区間のネット利得、すなわち、ラマン利得からファイバ損失を差し引いた利得を示すものである。

【0049】SMF11を用いることによってラマン利得が減少するものの、損失係数の差によって中継区間内の損失も減少するため、ネット利得に大きな変動は見られない。

【0050】そして、非線形効果緩和のため、SMF11を20kmとして用いた場合(このとき、DSF12も20kmであり、図2の線分 $\textcircled{c}$ )のネット利得は0.8dBとなり、この値は、DSF12のみの場合(図2の線分 $\textcircled{d}$ )のネット利得と比べて、ほぼ同等のネット利得が得られている(0.1dB以内の差)。

【0051】このとき、式(1)から、距離配分されたDSF12の長さ $L_2$ とDSF12中に配分されたラマン利得 $G_{R2}$ との間には、

$$L_2 = -1/\alpha_p \ln(1 - G_{R2}/G_{R02}) / \alpha_{p2} \quad \dots (2)$$

なる関係が成立することがわかる。

【0052】ここで、利得 $G_{R02}$ は、前述した式(1)で定義されたパラメータを用いて、

$$G_{R02} = 4.343 c_{R2} P_{p2} / K_2 \alpha_{p2} \quad \dots (3)$$

と表される。

【0053】一般に、中継区間内の分割数が2より大きい場合でも、各区間内でのファイバパラメータと各区間への入射励起光パワーとを用いて、ラマン利得とファイバ長の配分が可能である。

【0054】各区間のファイバをラマン利得係数の順に配置し、長さを変化させて上述のようにラマン利得を計算し、所望のネット利得が確保できるように配分を行うことができる。

【0055】以上説明したように、非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保しつつ、分布ラマン増幅の高光SNR特性を引き出すことが可能となる。

【0056】上記例では、ラマン利得係数が低く低非線形の第1の伝送ファイバ11としてSMFを用い、ラマン利得係数が高い第2の伝送ファイバ12としてDSFを用いて説明したが、これに限定されるものではなく、下記に示す各種ファイバを用いることも可能である。

【0057】低非線形性の第1の伝送ファイバ11として、LEAFファイバと呼ばれる大コア面積の分散シフトファイバや、分散の波長特性を抑えつつコア面積拡大を図った分散フラットファイバ(DFF)を用いてもよい。LEAFファイバ、DFF共に、損失係数がDSFと同程度であり、 $70 \mu m^2$ 程度の有効コア面積を有するものが報告されている。

【0058】ラマン利得係数が高い第2のファイバ12として、非零分散の分散シフトファイバ(NZDSF)、分散の波長特性が通常のDSFおよびSMFとは逆符号である逆分散スロープファイバ(RDF)、分散補償ファイバ(DCF)等の各種ファイバも使用可能である。

【0059】NZDSFは、パラメータがDSFと同程度であり、零分散波長が $1.55 \mu m$ に対して長波長若しくは短波長にシフトしたものである。RDFは、損失係数がDSFと同程度であるが、有効コア面積が約 $20 \mu m^2$ と小さいのが特徴である。DCFは、一般に、 $GeO_2$ 等の添加濃度が高く( $\sim 30 mol\%$ )、有効コア面積が小さく( $\sim 20 \mu m^2$ )、ラマン利得係数も大きく、また、損失係数も $0.5 \sim 1.0 dB/km$ と大きな値をとる。

【0060】なお、図1の光伝送路において、受信器2側の最終段の中間区間10には、励起部13が図示されているが、この励起部13を受信器2側に含ませるような構成としてもよい。

【0061】以下、本発明の具体例を、図4～図7に基づいて説明する。

【0062】[実施例1]次に、本発明の第1の実施例を、図4に基づいて説明する。

【0063】1は送信器、2は受信器、11はSMF、12はDSF、14は合波器、15は励起用光源(LED)である。

【0064】励起用光源15の励起光波長およびパワーは、 $1.45 \mu m$ 、 $200 mW$ である。信号波長は、 $1.54 \sim 1.56 \mu m$ である。

【0065】ファイバ長は、SMF11を $20 km$ 、DSF12を $20 km$ とし、中継間隔を $40 km$ とする。なお、中継間隔とは、SMF11の距離と、DSF12の距離とを加算した距離に相当する。

【0066】SMF11は純粋石英からなり、 $g_{R1} = 6.7 \times 10^{-14} (m/W)$ 、 $A_{eff1} = 80 (\mu m^2)$ 、 $\alpha_{p1} = 0.2 (dB/km)$ なるパラメータの値を持つ。

【0067】DSF12は、 $GeO_2$ 濃度が $10 (mol\%)$ 、 $g_{R2} = 8.0 \times 10^{-14} (m/W)$ 、 $A_{eff2} = 50 (\mu m^2)$ 、 $\alpha_{p2} = 0.25 (dB/km)$ なるパラメータの値を持つ。

【0068】 $K_1 = K_2 = 2$ (偏波非保持)である。中継区間内のラマン利得は図2より $10 dB$ である。

【0069】以上のようなシステム構成により、非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保しつつ、分布ラマン増幅の高光SNR特性を引き出すことが可能となる。

【0070】[実施例2]次に、本発明の第2の実施例を、図5に基づいて説明する。

【0071】図5(a)は、本例のシステムを示すものである。本システムでは、励起用光源15の後段に、集中型のEDFA16をさらに配置し、ハイブリッド構成をとる点が異なる。なお、本システムのその他の基本構成は、前述した第1の例(図4参照)と同じである。

【0072】励起光波長およびパワーは、 $1.51 \mu m$ 、 $200 mW$ である。ファイバ長は、SMF11を $20 km$ 、DSF12を $20 km$ とし、中継間隔を $40 km$ とする。

【0073】SMF11は、純粋石英からなり、 $g_{R1} = 6.7 \times 10^{-14} (m/W)$ 、 $A_{eff1} = 80 (\mu m^2)$ 、 $\alpha_{p1} = 0.2 (dB/km)$ なるパラメータの値を持つ。

【0074】DSF12は、 $GeO_2$ 濃度が $10 (mol\%)$ 、 $g_{R2} = 8.0 \times 10^{-14} (m/W)$ 、 $A_{eff2} = 50 (\mu m^2)$ 、 $\alpha_{p2} = 0.25 (dB/km)$ なるパラメータの値を持つ。

【0075】 $K_1 = K_2 = 2$ (偏波非保持)である。中継区間内のラマン利得は図2より $10 dB$ である。

【0076】EDFA16は、部分的に利得平坦化され、 $1.53 \sim 1.6 \mu m$ の波長域で利得を有する。

【0077】図5(b)は、本例のシステムによって実

現される利得スペクトルを示す。

【0078】EDFA16の長波長域における利得減少を相殺するように、ラマン増幅の励起波長とピーク利得とを調節することにより、1.53~1.61 $\mu$ mの信号光波長帯で平坦利得を有する。

【0079】ラマン利得のピーク値は10dB、EDFA利得のピーク値は7dBであり、総合利得として12dBが得られる。ラマン利得とEDFA利得との和が総合利得となるが、ラマン利得に対して前述したシステムの基本構成で説明したようなファイバ長配分を行えばよい。

【0080】本例では、総合利得に対する分布ラマン利得の割合が高いため、EDFA利得を大きくとり、中継間隔を長距離化した系に対して光SNR特性において優位性を有する。

【0081】[実施例3]次に、本発明の第3の実施例を、図6に基づいて説明する。

【0082】図6(a)は、本例のシステムを示すものである。本システムでは、DSF12の後段に、DCF(分散補償ファイバ)17を配置し、3種類のファイバで中継区間を構成した点異なる。なお、本システムのその他の基本構成は、前述した第1の例(図4参照)と同じである。

【0083】SMF11は、純粋石英からなり、 $g_{R1}=6.7 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff1}=80$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p1}=0.2$  (dB/km)なるパラメータの値を持つ。

【0084】DSF12は、GeO<sub>2</sub>濃度が10(mol%)、 $g_{R2}=8.0 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff2}=50$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p2}=0.25$  (dB/km)なるパラメータの値を持つ。

【0085】DCF17は、GeO<sub>2</sub>濃度が30(mol%)、 $g_{R3}=12.0 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff3}=18$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p3}=1.0$  (dB/km)なるパラメータの値を持ち、信号光における損失係数が0.5 (dB/km)である。

【0086】 $K_1=K_2=K_3=2$  (偏波非保持)である。

【0087】図6(b)はラマン利得係数の距離依存性を示し、図6(c)はラマン利得の距離依存性を示す。

【0088】前述したシステムの基本構成において説明したように、ファイバ長を配分し、SMF11を20km、DSF12を20km、DCF17を3kmとし、DCF17を除外して中継間隔を40kmとする。

【0089】中継区間内のラマン利得は11dBであり、非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保しつつ、分布ラマン増幅の高光SNR特性を引き出すことが可能となる。

【0090】本例では、SMF11、DSF12、DCF17の3種類のファイバで中継区間を構成したが、4

種類以上の複数ファイバで中継区間を構成することも可能である。

【0091】[実施例4]次に、本発明の第4の実施例を、図7に基づいて説明する。

【0092】図7(a)は、本例のシステムを示すものである。本システムでは、励起用光源15の後段に、集中型のEDFA(エルビウム等の希土類添加ファイバ増幅器)16を配置し、ハイブリッド構成をとる点異なる。なお、本システムのその他の基本構成は、前述した第3の例(図6参照)と同じである。

【0093】励起光波長およびパワーは、1.51 $\mu$ m、200mWである。ファイバ長は、SMF11を20km、DSF12を20kmとし、DCF17を3kmとし、DCF17を除外して中継間隔を40kmとする。

【0094】SMF11は、純粋石英からなり、 $g_{R1}=6.7 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff1}=80$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p1}=0.2$  (dB/km)なるパラメータの値を持つ。

【0095】DSF12は、GeO<sub>2</sub>濃度が10(mol%)、 $g_{R2}=8.0 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff2}=50$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p2}=0.25$  (dB/km)なるパラメータの値を持つ。

【0096】DCF17は、GeO<sub>2</sub>濃度が30(mol%)、 $g_{R3}=12.0 \times 10^{-14}$  (m/W)、 $A_{eff3}=18$  ( $\mu$ m<sup>2</sup>)、 $\alpha_{p3}=1.0$  (dB/km)なるパラメータの値を持ち、信号光における損失係数が0.5 (dB/km)である。

【0097】 $K_1=K_2=K_3=2$  (偏波非保持)である。

【0098】EDFA7は、部分的に利得平坦化され、1.53~1.6 $\mu$ mの波長域で利得を有する。

【0099】図7(b)は、本例のシステムによって実現される利得スペクトルを示す。

【0100】EDFA7の長波長域における利得減少を相殺するように、ラマン増幅の励起波長とピーク利得を調節することにより、1.53~1.61 $\mu$ mの信号光波長帯で平坦利得を有する。

【0101】ラマン利得のピーク値は、11dB、EDFA利得のピーク値は8dBであり、総合利得として13dBが得られる。ラマン利得とEDFA利得との和が総合利得となるが、ラマン利得に対して前述したシステムの基本構成で説明したようなファイバ長配分を行えばよい。

【0102】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ラマン利得係数の低い低非線形ファイバと、ラマン利得係数の高いファイバと、当該ラマン利得係数の高いファイバの出力端より信号伝播方向とは逆方向に励起光を入射して分布ラマン増幅を行う励起部とを連続接続し、そ

の縦続接続した区間を単位中継区間として、1段若しくは多段にして構成したので、非線形効果による伝送特性の劣化を緩和して信号光パワーを確保しつつ、分布ラマン増幅の高光SNR性を引き出すことが可能となり、これにより、大容量WDM光伝送システムを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態である光伝送システムを示すものであり、(a)は本システムの基本構成を示すブロック図、(b)はラマン利得係数の距離依存性を示す特性図、(c)はラマン利得の距離依存性を示す特性図である。

【図2】中継区間内ラマン利得の励起光伝搬方向の距離依存性を示す特性図である。

【図3】ネット利得とSMFのファイバ長との関係を示す特性図である。

【図4】本発明の第1の実施例であるシステム構成を示すブロック図である。

【図5】(a)は本発明の第2の実施例であるシステム構成を示すブロック図、(b)は利得とスペクトルとの関係を示す特性図である。

【図6】(a)は本発明の第3の実施例であるシステム構成を示すブロック図、(b)はラマン利得係数の距離

依存性を示す特性図、(c)はラマン利得の距離依存性を示す特性図である。

【図7】(a)は本発明の第4の実施例であるシステム構成を示すブロック図、(b)は利得とスペクトルとの関係を示す特性図である。

【図8】従来における光伝送システムの第1の構成例を示すブロック図である。

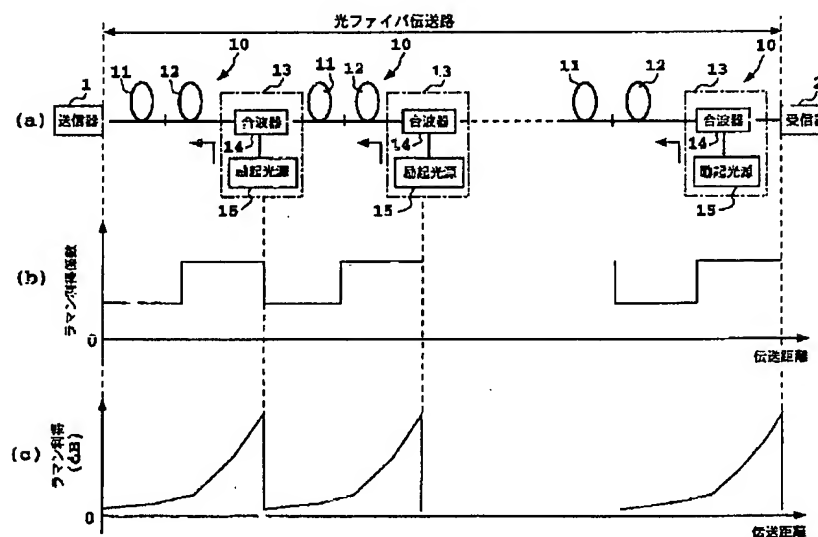
【図9】従来における光伝送システムの第2の構成例を示すブロック図である。

【図10】従来のラマン利得およびファイバ損失の中継間隔依存性を示す特性図である。

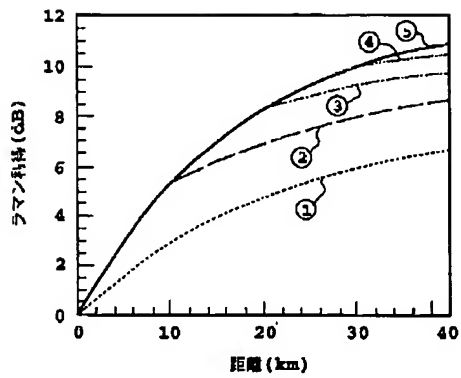
【符号の説明】

- 1 送信器
- 2 受信器
- 10 中継区間
- 11 シングルモードファイバ(SMF)
- 12 分散シフトファイバ(DSF)
- 13 励起部
- 14 合波器
- 15 半導体レーザ(LD)
- 16 エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)
- 17 分散補償ファイバ(DCF)

【図1】



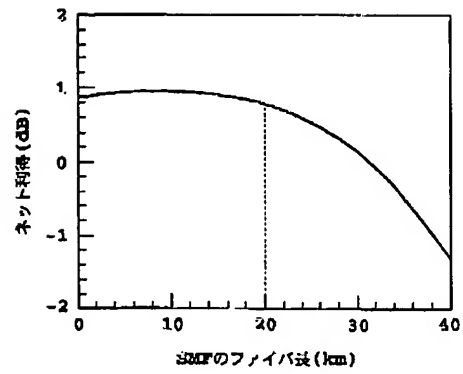
【図2】



— DSF 40km  
 --- SMF 10km+DSF 30km  
 - - - SMF 20km+DSF 20km  
 . . . SMF 30km+DSF 10km  
 ..... SMF 40km

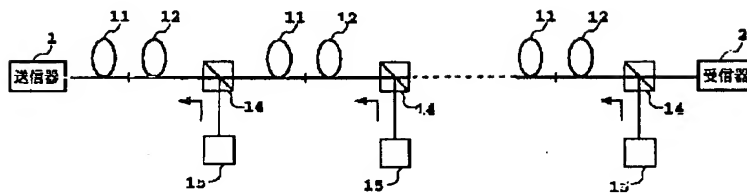
(中継区間内ラマン利得の励起光伝播方向の距離依存性)

【図3】

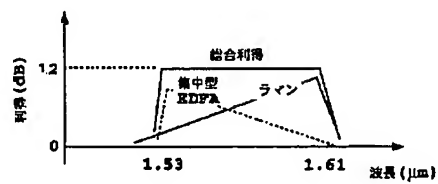
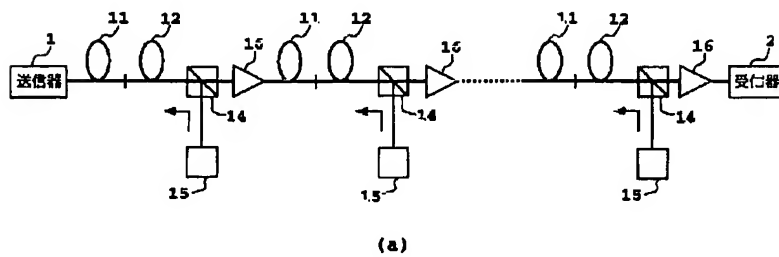


(ネット利得とSMFのファイバ長の関係)

【図4】

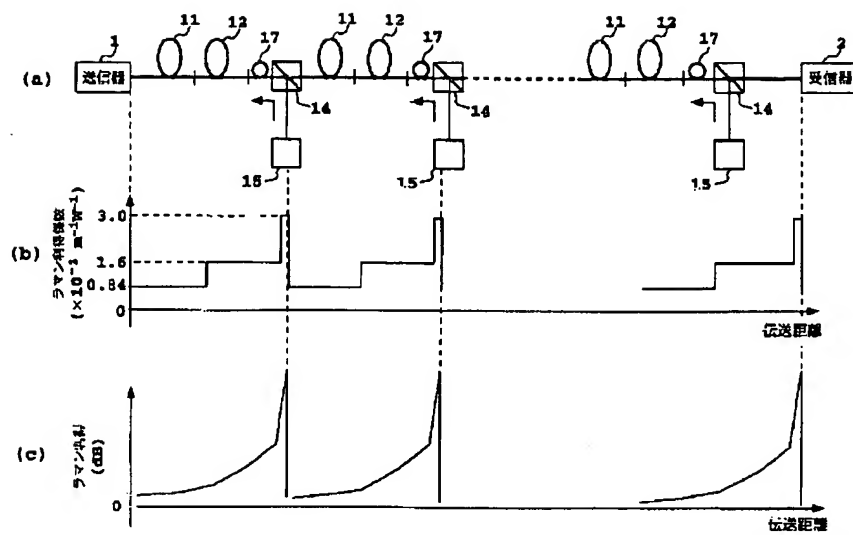


【図5】

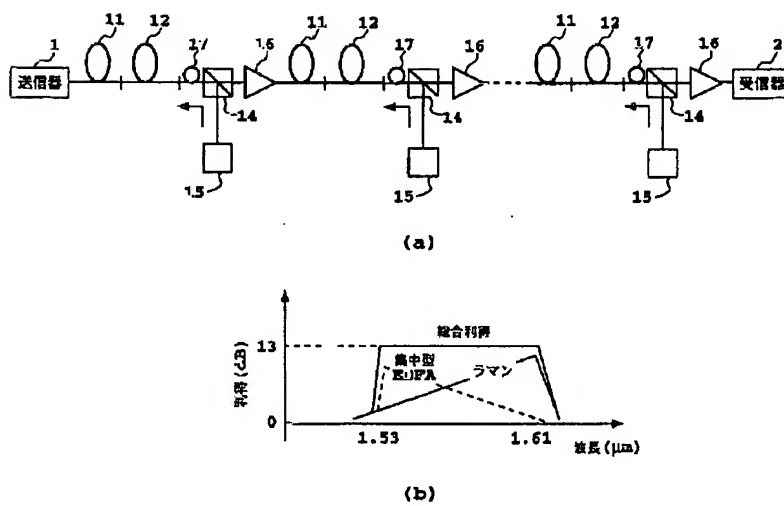


(b)

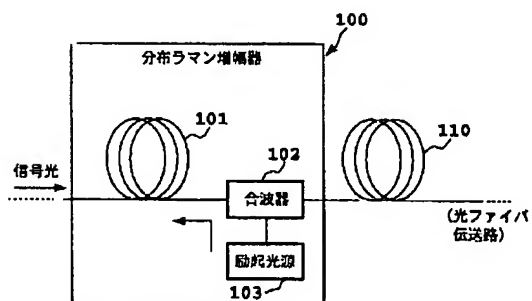
【図6】



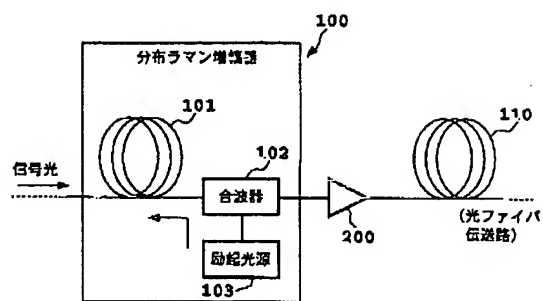
【図7】



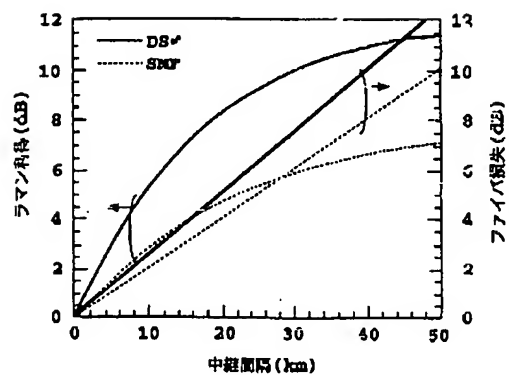
【図8】



【図9】



【図10】



(ラマン利得及びファイバ損失の中間距離依存性)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H04J 14/00  
14/02

識別記号

F I

(参考)

(72)発明者 高知尾 昇  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2K002 AB30 BA01 CA15 DA10 HA23  
5F072 AB07 AK06 QQ07  
5K002 AA06 BA05 CA02 CA10 CA13  
DA02 FA01